

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mario Skorupski

Zagreb, 2010

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ANALIZA ČESTICA TROŠENJA METODOM FEROGRAFIJE

Voditelj rada:

doc.dr.sc. Krešimir Grilec

Mario Skorupski

Zagreb, 2010

## **Izjava**

Izjavljujem da sam ja, Mario Skorupski samostalno izradio završni rad preddiplomskog studija Fakulteta strojarstva i brodogradnje na temu " Analiza čestica trošenja metodom ferografije " koristeći navedenu literaturu i znanje stečeno tijekom studija.

Pomoć pri radu s ferografom i pri odabiru stručne literature pružio mi je voditelj laboratorija za tribologiju doc. dr.sc. Gojko Marić, dok mi je pri izradi rada uvelike pomogao doc. dr. sc. Krešimir Grilec. Ovim putem im se zahvaljujem.

## Sadržaj

<b>1. Uvod.....</b>	<b>8</b>
<b>2. Ukapljeni naftni plin kao alternativno gorivo.....</b>	<b>9</b>
2.1. Ukapljeni naftni plin.....	9
2.2. Primjena.....	11
2.3. Proizvodnja, transport i skladištenje.....	13
2.4. Sustav UNP-a za pogon vozila.....	16
2.5. Cijena UNP-a.....	20
2.6. Primjena UNP-a s ekološkog gledišta.....	21
2.7. Sigurnost prilikom korištenja UNP-a.....	22
2.8. Prednosti i nedostaci korištenja UNP-a.....	23
<b>3. Motori s unutarnjim izgaranjem te njihovo podmazivanje.....</b>	<b>24</b>
3.1. Osnovni princip rada motora.....	24
3.2. Sistemi podmazivanja.....	25
3.3. Funkcije mazivog ulja u motoru.....	25
3.4. Talози u motoru.....	26
3.5. Onečišćenja bogata ugljikom.....	26
3.6. Ugušćivanje ulja.....	27
3.7. Suzbijanje korozije.....	27
3.8. Uzroci povećane potrošnje ulja.....	28
3.9. Zamjena ulja u motoru.....	28
<b>4. Praćenje stanja motora i kvalitete izgaranja.....</b>	<b>30</b>
4.1. Analiza ispušnih plinova – eko test.....	30
4.1.1. Eko test benzinskih motora.....	31
4.1.2. Eko test diesel motora.....	32
<b>5. Ferografija.....</b>	<b>33</b>
5.1. Indeks sadržaja čestica trošenja.....	34
5.2. Analiza ferograma.....	36
<b>6. Eksperimentalni dio rada.....</b>	<b>38</b>
6.1. Uzimanje uzoraka.....	39
6.2. Pohrana uzoraka.....	40
6.3. Oprema za ispitivanje.....	41
6.4. Priprema uzoraka i uređaja za ispitivanje.....	42
6.5. Postupak mjerenja.....	42
<b>7. Rezultati ispitivanja.....</b>	<b>44</b>
7.1. Rezultati analize ulja automobila pokretanog UNP-om.....	44
7.2. Rezultati analize ulja automobila pokretanog benzinom.....	46
<b>8. Analiza rezultata ispitivanja.....</b>	<b>48</b>
<b>9. Zaključak.....</b>	<b>50</b>
<b>10. Literatura.....</b>	<b>51</b>

## **Popis slika**

- Slika 2.1. - Struktura potrošnje UNP-a u svijetu 2006. godine
- Slika 2.2. - Shema proizvodnje UNP-a
- Slika 2.3. - UNP u cilindričnom spremniku
- Slika 2.4. - UNP u okruglim spremnicima
- Slika 2.5. - UNP u bocama
- Slika 2.6. - Transport UNP-a cisternom
- Slika 2.7. - Transport UNP-a tankerom
- Slika 2.8. - Transport UNP-a plinovodom
- Slika 2.9. - Instalacija UNP-a u automobilu
- Slika 2.10. - Benzin gubi bitku s UNP-om
- Slika 2.11. - Struktura zagađivača okoliša
- Slika 2.12. - Punionica UNP-a
- Slika 2.13. - Ugradnja UNP-a
- Slika 3.1. - Skica motora s unutarnjim izgaranjem
- Slika 5.1. - Princip rada ferograma s direktnim očitanjem
- Slika 5.2. - Promjena indeksa intenzivnosti trošenja
- Slika 5.3. - Shema dobivanja ferograma
- Slika 5.4. - Izgled ferograma
- Slika 6.1. - VW Golf pokretan UNP-om
- Slika 6.2. - VW Golf pokretan benzinom
- Slika 6.3. - Pohranjeni uzorci
- Slika 6.4. - Ferograf s direktnim očitanjem PMA 90 S
- Slika 6.5. - Raspored tipki na ferografu PMA 90 S
- Slika 6.6. - Prvi i drugi maximum, minimum
- Slika 7.1. - Krivulja indeksa sadržaja čestica trošenja za automobil pokretan UNP-om
- Slika 7.2. - Krivulja indeksa sadržaja čestica trošenja za automobil pokretan benzinom
- Slika 8.1. Usporedba promjene indeksa sadržaja čestica trošenja u ovisnosti o prijeđenim kilometrima

## **Popis tablica**

Tablica 2.1. - Fizikalno – kemijske karakteristike UNP-a

Tablica 2.2. - Statistički podaci o sektoru UNP u Europi krajem 2006. godine

Tablica 2.3. - Usporedba emisije ispušnih plinova UNP vozila u odnosu na benzin i diesel

Tablica 4.1. - Zakonski zahtjevane vrijednosti eko testa za skupinu REG-KAT

Tablica 4.2. - Zakonski zahtjevane vrijednosti eko-testa za skupinu BEZ-KAT

Tablica 4.3. - Zakonski zahtjevane vrijednosti eko test za skupinu Diesel

Tablica 7.1. - Rezultati analize ulja za automobila pokretan UNP-om

Tablica 7.2. - Rezultati analize ulja automobila pokretanog benzinom

### **Popis oznaka**

<b>Oznaka</b>	<b>Značenje</b>	<b>Mjerna jedinica</b>
$\lambda$	Faktor zraka	
n	Brzina vrtnje	min <sup>-1</sup>
k	Srednji koeficijent zacrnjenja	m <sup>-1</sup>
WPC	Sadržaj čestica trošenja	%
D <sub>L</sub>	Površina prekrivena većim česticama	%
D <sub>S</sub>	Površina prekrivena manjim česticama	%

## **1. Uvod**

U današnjem modernom, urbanom i visoko industrijaliziranom svijetu, gdje kretanje cijena naftnih energenata određuju moćni svjetski lobiji i ekonomske velesile na čelu s SAD-om, uslijed ogromne potrošnje nafte i naftnih derivata dolazi do smanjenja zalihe nafte, te uz drastičan porast cijena tog daleko najvrijednijeg energenta cijeli niz drugih poskupljenja koja prethode globalnoj financijskoj krizi, čije smo i sami svjedoci posljednjih nekoliko mjeseci.

Usporedno, putem različitih medija, kanala, skupova, foruma, potiče se sve veća primjena alternativnih energenata. Pod tim pojmom podrazumijevaju se goriva dobivena od ugljena, obnovljiva goriva, alkoholi i plinska goriva.

Prema raznim procjenama čak oko 50% naftnih derivata, benzina i plinskog ulja troši se za potrebe prijevoza. Potreba za smanjenjem potrošnje konvencionalnih goriva, cijene tih goriva i modifikacije potrebne da bi se mogla koristiti alternativna goriva u svrhu prijevoza u prvi plan postavljaju ukapljeni naftni plin ( UNP ) kao alternativu.

U prilog korištenju UNP-a idu i cijena energenata, dostupnost energenta, rasprostranjenost stanica za opskrbu, utjecaj na okoliš te sigurnost pri upotrebi, dok je utjecaj na pogonski agregat u usporedbi s naftnim derivatom-benzinom tema izučavanja ovog rada.



## **2. Ukapljeni naftni plin ( UNP ) kao alternativno gorivo**

### **2.1. Ukapljeni naftni plin**

Ukapljeni naftni plin je smjesa zasićenih ugljikovodika propana i butana, tj. njihovih izomera (n-butana i izo-butana) te raznih primjesa, ponajviše propena, butena, etana i etena u različitim omjerima. Ukapljeni naftni plin nastaje miješanjem struja trgovačkog propana i butana u odgovarajućem omjeru, što ovisi o načinu proizvodnje i zahtjevima za kakvoćom. Trgovački propan sadržava najmanje 95% propana s manjim udjelom propena, dok ostatak čine etan, eten, butan i buten. Trgovački je butan sastavljen također od najmanje 95% butana i butena, odnosno njihovih izomera, a ostalih 5% čine propan, propen, pentan i penten, odnosno njihovi izomeri. [1]

-Kod UNP-a razlikujemo:

Dva stanja: kapljevito i plinovito

Tri faze: kapljevita, parovita i plinovita

Pojam stanja pri tome je vezan uz pojavnost, agregatno stanje tvari, a faze uz ponašanje plina u zatvorenom spremniku pri ravnotežnim uvjetima. Za prelazak iz jedne u drugu fazu, odnosno stanje, treba dovesti ili odvesti toplinu.

Pri normalnim uvjetima je UNP u plinovitom stanju, no ukapljuje se pri razmjerno niskim tlakovima (1,7 – 7,5 bar). Neotrovan je i nema boju ni miris pa mu se pri proizvodnji dodaje odorant kako bi se mogla otkriti njegova prisutnost u zraku. Ima uske ali niske granice eksplozivnosti i teži je dvaput od zraka pa iz otvorenih prostorija sporo otječe u slobodnu atmosferu. U zatvorenim prostorijama slobodno pada na tlo.

Proizvodi se iz nafte i naftnih plinova rafinerijskom preradom ili pri obradi sirovog prirodnog plina. Vrlo je prikladan za prijevoz, skladištenje i uporabu jer se može skladištiti i prevoziti u kapljevitom, a koristiti u plinovitom stanju. Zbog lakšeg korištenja i transporta ukapljuje se pod povećanim tlakom u posebne posude (boce ili spremnici).

Osim ugljikovodika, UNP redovito sadržava neugljikovodične tvari kao što su voda, dušik, kisik, amonijak, sumpor i njegovi spojevi u zanemarivim udjelima. Pri tome se voda, amonijak i sumpor smatraju štetnim onečišćenjima:

- voda: uzrokuje stvaranje čvrstih hidrata s ugljikovodicima i smrzavanje dijelova instalacija zimi
- amonijak: korozivan, posebice za dijelove instalacija od bakra ili njegovih slitina
- sumpor: otrovan i uzrokuje onečišćenje okoliša sumpornim spojevima i stvaranje agresivnih spojeva u reakciji s vodom iz dimnih plinova pri izgaranju

Uz to, UNP-u se u pravilu dodaju razni aditivi – tvari za poboljšanje određenih fizikalnih i kemijskih svojstava, a najčešći su:

- metanol: sredstvo protiv smrzavanja zimi ( u količini 1-1,5 l/m<sup>3</sup> )
- odoranti: za brzo i jednostavno otkrivanje u slučaju nekontroliranog istjecanja ( etil-merkaptan, u količini 12 g/m<sup>3</sup> i tiofen, odnosno tetrahidrotiofen u količini 77g/m<sup>3</sup> ) [2]

Svojstva komercijalnog UNP-a su:

- kod atmosferskog tlaka i sobne temperature propan-butan plin je u plinovitom stanju
- za uporabu je odoriziran najčešće etil merkaptanom, da bi se njegova prisutnost u zraku mogla osjetiti njuhom
- nije otrovan, ali kod prevelike koncentracije smanjuje količinu kisika u prostoriji
- komercijalni propan butan plin je smjesa bez boje, okusa i mirisa, teži od zraka
- zbog lakšeg korištenja i transporta ukapljuje se pod povećanim tlakom u posebne posude ( boce ili spremnici )

Tablica 2.1. Fizikalno – kemijske karakteristike UNP-a

Naziv	Butan	Propan
Formula	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>
Molarna masa M, (kg/kmol)	44,096	42,081
Plinska konstanta R, J (kg K)	188,5	197,58
Maseni udio ugljika (%)	81,71	85,72
Maseni udio vodika (%)	18,28	14,28
Vrelište T <sub>vr</sub> (°C)	-0,5	-42
Specifični volumen u plinovitom stanju (pri 15 °C) v <sub>pl</sub> , (m <sup>3</sup> /kg)	0,521	0,545
Specifični volumen u kapljevitom stanju (pri 15 °C) v <sub>kap</sub> , (l/kg)	1,972	1,912
Gustoća u plinovitom stanju (pri normalnim uvjetima) p <sub>pl</sub> , (kg/m <sup>3</sup> )	2,011	1,913
Gustoća u kapljevitom stanju (pri 15 °C) v <sub>kap</sub> , (kg/l)	0,507	0,523
Specifični toplinski kapacitet u kapljevitom stanju (pri 0°C) c <sub>kap</sub> , kJ (kg K)	2,43	2,64
Omjer ogrjevnih vrijednosti H <sub>d</sub> / H <sub>g</sub>	0,919	0,934

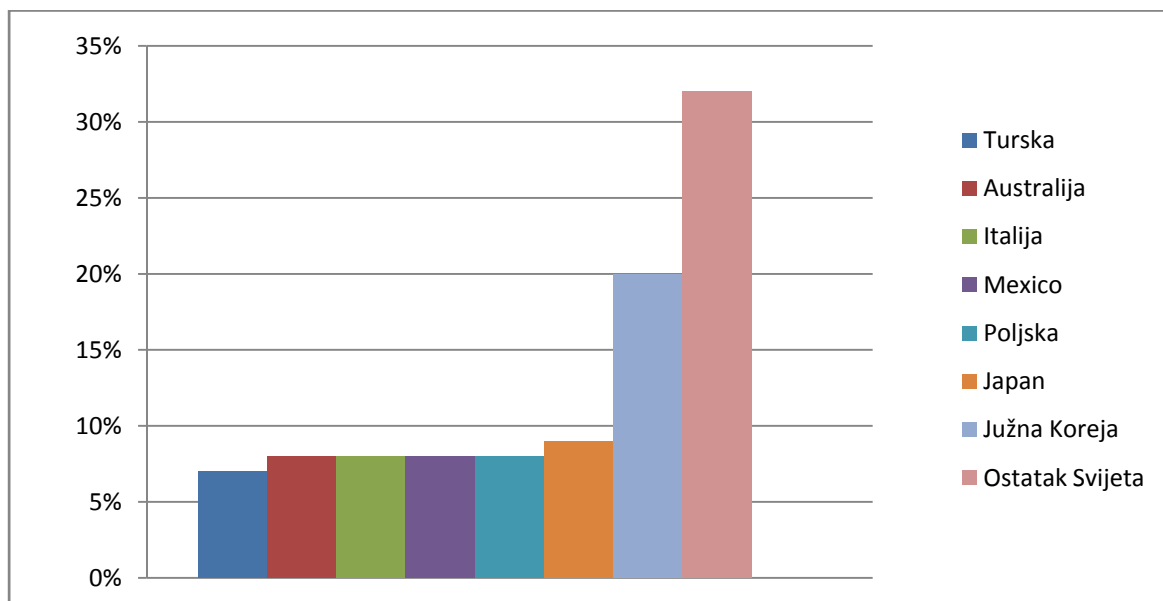
## 2.2. Primjena

Područja primjene UNP-a mogu se podijeliti u pet skupina:

- Kućanstva, stambene i poslovne zgrade: gorivo u sustavima grijanja i pripreme potrošnje tople vode, za pripremu hrane i sl.
- Ugostiteljstvo i turizam: gorivo u sustavima grijanja i pripreme potrošnje tople vode, za pripremu hrane, za rasvjetu i grijanje otvorenih prostora i sl.
- Industrija i graditeljstvo: gorivo u sustavima grijanja i pripreme potrošnje tople vode ili proizvodnje pare, raznim proizvodnim procesima, za rezanje i zavarivanje, za postavljanje izolacija i sl.
- Poljoprivreda: gorivo u sustavima grijanja staklenika, za uništavanje korova i sl.
- Promet: pogonsko gorivo u motorima s unutarnjim izgaranjem

Prema statističkim podacima svjetske i europske organizacije za UNP u svijetu je 2006. godine potrošeno oko 235 milijuna tona UNP-a. Najveći rast potrošnje UNP-a kao alternativnog goriva za pogon motornih vozila postignut je od 1999. do 2005. godine. Potrošnja UNP autoplina je povećana s 11,5 na 18, 2 milijuna tona, ili 55%, s procjenama za 2010. godinu od 22,5 milijuna tona. [3]

Sličan je trend i u povećanju broja vozila na pogon UNP-om, sa 6,4 milijuna krajem 1999. godine na 12 milijuna vozila krajem 2006. godine, što je praćeno prosječnim godišnjim rastom broja punionica oko 8% (s 25 800 punionica krajem 1999. na preko 40 000 krajem 2004 godine.) [3]



Slika 2.1. Struktura potrošnje UNP-a u svijetu 2006. godine [3]

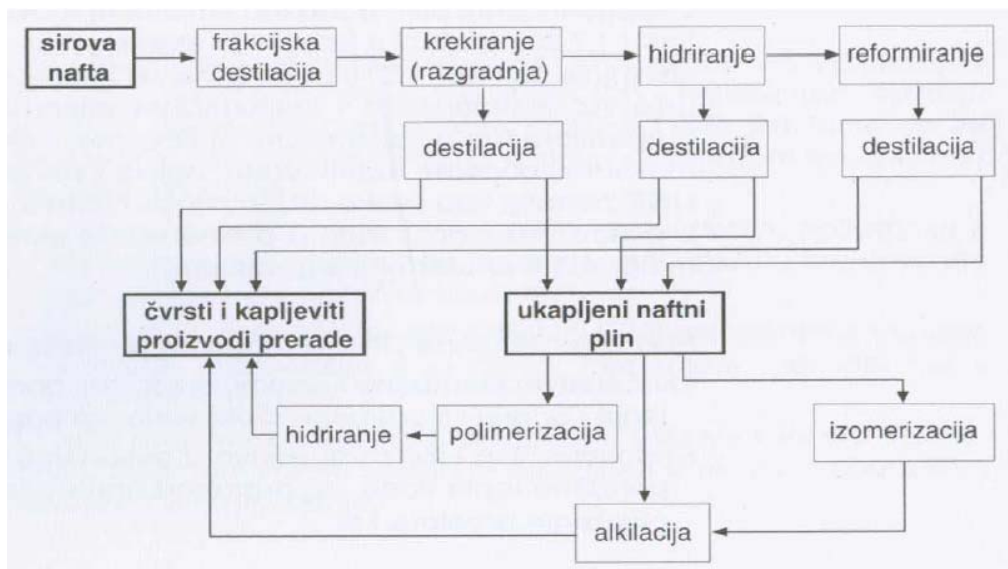
Procjenjuje se da je u Europi krajem 2006. godine bilo registrirano oko 6,5 milijuna vozila s pogonom na UNP, koja su se opskrbljivala autoplinom na više od 23 000 punionica. Po broju vozila prva je bila Poljska s preko dva milijuna, slijede je Turska i Italija. Mreža punionica UNP-om najrasprostranjenija je u Poljskoj sa skoro 6 000 punionica, zatim slijede Turska, Njemačka, Italija i Velika Britanija.

Tablica 2.2. Statistički podaci o sektoru UNP u Europi krajem 2006. godine [3]

Država	Broj registriranih vozila na pogon UNP-om	Broj punionica UNP-om
Austrija	15.200	25
Belgija	75.600	620
Češka	182.300	480
Danska	11.400	12
Estonija	21.200	90
Francuska	186.400	1.180
<b>Hrvatska</b>	<b>46.000</b>	<b>180</b>
Italija	1.220.000	2.100
Litva	185.000	880
Mađarska	82.000	560
Nizozemska	340.000	2.050
Njemačka	142.000	2.200
Poljska	2.020.000	5.900
Portugal	36.000	240
Rumunjska	26.600	120
Srbija	24.000	290
Turska	1.740.000	4.500
Velika Britanija	136.000	1.320
Ostale države	108.300	400
<b>Ukupno</b>	<b>6.588.000</b>	<b>23.622</b>

### 2.3.      Proizvodnja, transport i skladištenje UNP-a

Osnovne sirovine za proizvodnju UNP-a su prirodni plin i sirova nafta. Pri tome oko 60% otpada na proizvodnju u postrojenjima za preradu prirodnog plina, a ostatak na rafinerije nafte, kako je prikazano na slici 2.2.



Sika 2.2. Shema proizvodnje UNP-a [2]

U ukupnoj količini proizvoda koji se dobivaju u tim procesima, UNP čini 4% volumnog udjela pri preradi prirodnog plina, odnosno 4,5% masenog udjela pri rafinerijskoj preradi nafte.

Pri preradi sirovog prirodnog plina izdvajaju se viši ugljikovodici ( etan, propan, n-butan, izo-butan, itd. ) i miješanjem njihovih struja u odgovarajućem omjeru nastaje UNP. Pri tome se za izdvajanje viših ugljikovodika iz smjese s metanom koriste dvije skupine postupaka:

- postupci bez hlađenja ili uz umjereno hlađenje ( apsorpcija s hlađenjem, apsorpcija bez hlađenja, adsorpcija, kompresija i jednostupanjsko vanjsko hlađenje )
- kriogeni ili postupci uz ohlađivanje ( višestupanjsko vanjsko hlađenje, ekspanzija s vanjskim hlađenjem i ekspanzija s vanjskom komorom )

Odabir odgovarajućeg postupka ovisi o ulaznom sastavu plina, tlaku, željenom udjelu pojedinih sastojaka UNP-a i ekonomskim zahtjevima proizvodnje. Pri rafinerijskoj preradi nafte jedan se dio sastojaka UNP-a izdvaja već u kolonama za frakcijsku destilaciju i destilaciju u kojima se proizvode laki benzin, petrolej, loživo i plinsko ulje te teški ostaci. Zbog velikog udjela sumpora u tako dobivenom UNP-u u pravilu je potrebna daljnja prerada ili se on koristi kao gorivo u samom procesu proizvodnje. Ipak, najveći se dio sastojaka UNP-a

izdvaja pri daljnjim postupcima rafinerijske prerade nafte kao što su kreiranje, hidriranje i reformiranje.

Ukapljeni naftni plin, odnosno smjesa njegovih sastojaka već pri tlaku 1,7 bar prelazi u kapljevito stanje pri čemu mu se volumen smanjuje čak 260 – 270 puta, čime se značajno olakšava njegov prijevoz kamionskim i željezničkim cisternama, brodovima, u spremnicima i bocama.



Slika 2.3. UNP u cilindričnom spremniku [4]



Slika 2.4. UNP u okruglim spremnicima [5]



Slika 2.5. UNP u bocama [5]



Slika 2.6. Transport UNP-a cisternom [6]



Slika 2.7. Transport UNP-a tankerom [6]





Slika 2.8. Transport UNP-a plinovodom [8]

## 2.4. Sustav UNP-a za pogon vozila

Ukapljeni naftni, a u posljednje vrijeme i prirodni plin, kao pogonska goriva u motornim vozilima imaju brojne ekološke, ali i ekonomske prednosti nad uobičajenim benzinskim i dizelskim gorivima: mogućnost nastajanja prizemnog ozona smanjena je za više od 50%, emisija dušičnih oksida i ugljičnog monoksida smanjena je za 80%, dok su emisije sumpornih spojeva, benzola, aldehida i čvrstih čestica ( čađi ) gotovo zanemarive.

Zbog toga ne čudi da se upravo prirodni i ukapljeni naftni plin, u usporedbi s ostalim „alternativnim“ rješenjima za pogon vozila: alkoholom, gorivim ćelijama, vodikom i električnom strujom smatra jedinom dostojnom zamjenom postojećih skupih i za okoliš prilično štetnih goriva. Dodatna je pogodnost da se postojeći benzinski motori mogu prilagoditi plinskom pogonu bez mnogo preinaka, a najčešće su tzv. bivalentne izvedbe, tj mogućnost trenutnog prebacivanja pogonskog goriva ( UNP – benzin ) tijekom vožnje.

Prema UN/ECE Pravilniku serije 67-01, minimalni skup opreme za ugradnju u motorno vozilo s alternativnim pogonom na UNP autoplin čini [3]

- spremnik plina
- armatura priključena na spremnik
- isparivač/regulator tlaka plina
- ventil za prekid toka UNP autoplina
- uređaj za ubrizgavanje plina ili ubrizgavač ili mješač plina i zraka
- uređaj za doziranje plina odvojen ili kombiniran s uređajem za ubrizgavanje plina



- fleksibilne cijevi
- uređaj za punjenje
- protupovratni ventil
- ventil za rasterećenje od visokog tlaka u cijevima
- filter
- senzor tlaka ili temperature
- servisna spojnica
- elektronska upravljačka jedinica
- rampa za ubrizgavanje plina
- uređaji za rasterećenje od visokog tlaka

Dijelovi i oprema koji čine armaturu priključenu na spremnik su: [3]

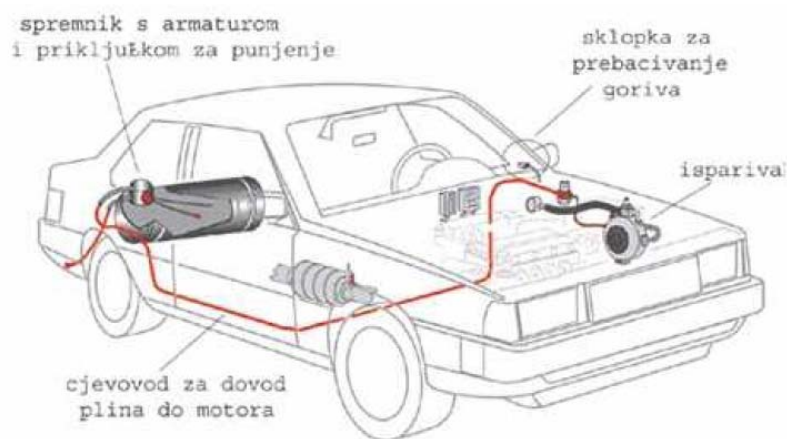
- uređaj za ograničenje punjenja na 80% zapremnine spremnika
- indikator nivoa
- sigurnosni ventil za rasterećenje od visokog tlaka
- daljinski upravljani servisni ventil s ventilom protiv ekstra visokog protoka
- pumpa za UNP autoplin
- multifunkcionalni ventil (multiventil)
- plinsko nepropusno kućište za armaturu priključenu na spremnik, s ventiliranjem nekontroliranog istjecanja plina
- električni priključak za rad pumpe, aktuator i senzor nivoa
- protupovratni ventil
- sigurnosni uređaj za spriječavanje eksplozije spremnika uzrokovane požarom, koji omogućuje rasterećenje spremnika od visokog tlaka.

U Europi postoji velik broj proizvođača opreme za autoplin, a najviše su zastupljeni u Italiji, Nizozemskoj, Njemačkoj i Francuskoj s licencom proizvodnje u Poljskoj, Turskoj i Češkoj, kao i proizvodnjom spremnika prema vlastitim tehnološkim rješenjima u drugim europskim državama.

Na prostorima država jugoistočne Europe najčešće su prisutni europski proizvođači autoplin opreme, kao što su Autronic, BRC, Emer, Landi Renzo, Lovato, Starga, Tartarini i Tomasetto, koji isporučuju opremu u specijalnim kompletima namjenjenim određenim markama i tipovima motornih vozila.

Svi se dijelovi instalacije izrađuju od materijala koji je otporan na djelovanje ukapljenog naftnog plina i ne mjenja njegova svojstva, te u dodiru s njim nije zapaljiv. Osnova sustava UNP-a u vozilu jest spremnik, koji kao i svaka druga posuda pod tlakom mora imati dopuštenje Državnog inspektorata – Inspekcije posuda pod tlakom ( prema članku 287. Zakona o sigurnosti prometa na cestama, pročišćeni tekst, NN 59/96 ), a na njemu se nalazi oznaka na kojoj stoji [1]

- naziv proizvođača, tvornički broj i godina proizvodnje
- naziv plina kojim se puni ( smjesa propan-butan )
- volumen spremnika u litrama
- datum posljednjeg pregleda i ispitivanja, te pečat ustanove koja je to provela (DI-IPT)
- najveća dopuštena masa plina pri punjenju u kilogramima



Slika 2.9. Instalacija UNP-a u automobilu [1]

Na spremniku se nalazi oprema koja, kao i kod običnih spremnika, jamči njegovu sigurnu uporabu. Ona uključuje glavni ventil spremnika, ventil za spriječavanje protoka, uređaj za osiguranje od previsokog tlaka, pokazivač razine, zaštitno kućište, priključak za punjenje s protupovratnim ventilom i zaporne ventile.

Osim spremnika i ostali dijelovi moraju zadovoljiti temeljne zahtjeve. Ugradnja spremnika, uređaja i opreme za pogon motornih vozila UNP-om smatra se preinakom vozila koje smiju izvoditi samo ovlaštene servisne radionice koje o izvedenim radovima izdaju odgovarajuću izjavu čiji sadržaj utvrđuje ovlaštena organizacija. Uređaji i oprema moraju biti ugrađeni u granicama dimenzija vozila u koje su ugrađeni. Nakon ugradnje ispituju se nepropusnost i osovinsko opterećenje. Prilikom ugradnje spremnika u vozila treba voditi računa o osnovnim mjerama sigurnosti. [7]

- ispušni plinovi motora ne smiju se usmjeriti prema spremniku
- plin koji bi mogao istjecati iz spremnika, opreme ili spojeva ne smije biti usmjeren prema ispušnom sustavu, motoru, putničkom ili prtljažnom prostoru
- spremnik se mora zaštititi od djelovanja sunčevih zraka
- spremnik se mora mehanički zaštititi od vanjskih utjecaja (npr. udaraca) ako se ugrađuje u pod vozila
- spremnik se ne smije ugrađivati u predjelu motora ni ispred prednje osovine vozila
- prilikom ugradnje u stražnjem djelu najmanja udaljenost od stražnjeg branika iznosi 200 mm, a za pričvršćenje služe najmanje dva držača
- progibi, uvijanja i vibracije vozila ne smiju imati nikakav nepovoljan utjecaj na dijelove uređaja i opreme za pogon vozila kao i dijelove njihova pričvršćenja
- pričvršćenja ne smiju biti izvedena s oštrim bridovima i ne smiju biti takva da mogu oštetiti dijelove uređaja i opreme

Uz uobičajene isprave vozila potrebno je imati i tehničku uputu u kojoj slijedi:

- punjenje spremnika dopušteno je samo ukapljenim naftnim plinom na za to predviđenim mjestima (punionicama), od strane ovlaštene osobe (zaposlenika benzinske postaje ili punionice plina) kad je motor isključen, kad u vozilu nema osoba te ako nije prekoračena valjanost redovnog tehničkog pregleda vozila i spremnika
- spremnik se ne smije puniti više od 80% volumena
- nakon punjenja priključak za punjenje mora se nepropusno zatvoriti i zaštititi poklopcem
- ispravnost sigurnosnog ventila može obavljati samo ovlaštena osoba
- vozilo se ne smije ostavljati u prostoriji bez prozračivanja, kao što je posve zatvorena podzemna, podrumaska garaža, a u njenoj blizini ne smije biti otvorenog plamena ili izvora iskrenja

## 2.5. Cijena UNP-a

Trenutna cijena ovog energenta iznosi 4,64kn/l ( cijena od siječnja 2010. godine).

Cijena naftnih derivata, benzina i diesela na našem tržištu je 8,07 odnosno 7,80 kn. Prije samo dvije godine cijena plina je bila 3,35 kn/l a cijena benzina je u to vrijeme dosegla i 9,99 kn/l. Dolaskom globalne financijske krize, cijena barela nafte sa 140\$ pala je na oko 50\$, no u zadnjih nekoliko mjeseci se tržište počelo polako stabilizirati te je sad cijena barela nafte oko 80\$ pa je shodno tome i benzin opet poskupio na preko 8 kn/l. Prije godinu dana litra benzina bila je 6,60 kn/l kad je recesija bila u punom jeku.

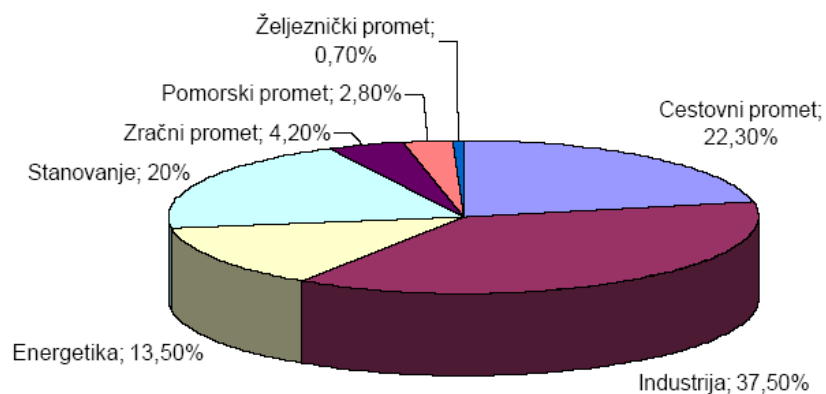
Kad govorimo o investiciji u plinski sustav u automobil tu postoje vrlo jednostavne računice. Za jednak broj prijeđenih kilometara potrebna je veća količina UNP-a od potrebne količine benzina, otprilike to iznosi litru UNP-a više nego litru benzina, na svakih sto kilometara. Troškovi ugradnje u vozilo kreću se od 6 tisuća pa do 11 tisuća kuna. Trošak obveznog atesta iznosi 900 kn. Prosječan vozač godišnje prijeđe 15.000 km, te se uzevši u obzir sadašnje cijene energenata, početnu investiciju, atest, te potrošnju goriva od oko 10 litara na sto kilometara, početna investicija isplati za 15-25 tisuća prijeđenih kilometara. Sve dalje je zarada jer se na plin vozi dvostruko jeftinije. Za napomenuti je i blagotovorno dijelovanje UNP-a na okoliš, te se doprinosi značajnim smanjenjem emisija štetnih tvari u usporedbi s konvencionalnim gorivima.



Slika 2.10. Benzin gubi bitku s UNP-om

## 2.6. Primjena UNP-a s ekološkog gledišta

Prema istraživanjima vodećih svjetskih institucija provedenih tijekom posljednjih dvadesetak godina utvrđeno je da na ukupno zagađenje okoliša najviše utječu industrija i energetika s 50%, prijevoz 30%, te stanovanje 20%. [4]



Slika 2.11. Struktura zagađivača okoliša

UNP kao energent je vrlo dobar s ekološkog stajališta i ima sve veću učinkovitost u očuvanju ozonskog omotača. Direktnim izgaranjem bez dima, pepela, čađe i neugodna mirisa, te odsutnosti sumpornih spojeva, u odnosu na ostala fosilna goriva (osim prirodnog plina), UNP doprinosi u smanjenju pojave kiselih kiša i ostalih produkata emisije štetnih plinova, kako na području energetske rješavanja objekata tako i prometa

Tablica 2.3. Usporedba emisije ispušnih plinova UNP vozila u odnosu na benzin i diesel [4]

Usporedba prema benzinu	Usporedba prema dieselu
75% manje CO (ugljičnog monoksida)	90% manje krutih čestica
85% manje ugljikovodika	90% manje NO (dušičnog oksida)
40% manje NO (dušičnog oksida)	70% manje utjecaja na oblikovanje ozona
87% manje utjecaja na oblikovanje ozona	60% manje CO (ugljičnog monoksida)
10% manje CO <sub>2</sub> (ugljičnog dioksida)	

## 2.7. Sigurnost prilikom korištenja UNP-a

UNP ima najniže granice zapaljivosti od svih alternativnih goriva. Ako slučajno dođe do nekontroliranog istjecanja, tekući UNP brzo ispari. UNP se neće zapaliti dok izvor paljenja ne postigne temperaturu od najmanje 500°C, što je povoljnije od benzina kod kojeg dolazi do zapaljenja pri dvostruko nižim temperaturama (220 - 260°C).

Spremnici autoplina koji se ugrađuju u vozila napravljeni su od čelika ili kompozitnih materijala i ispitani prema najstrožim standardima, radi osiguranja prilikom udara, eksplozije i požara.

Suvremene instalacije ugrađene u vozila za pogon UNP-om opremljene su uređajima za osiguranje od visokih tlakova, pucanja cijevnih vodova, havarije vozila ili požara.

Opskrba vozila UNP-om odvija se na sličan način kao i kod vozila pogonjenih benzinom ili dieselom. Poput benzina i diesela, UNP je u tekućem stanju i spremnik vozila se puni preko pumpnog automata i pištolja za punjenje kroz savitljivo crijevo. Pumpa se automatski zaustavlja kada je spremnik napunjen na 80% volumena, tako da nema opasnosti od prepunjivanja spremnika. Ne može se dogoditi da se u spremnik autoplina puni drugo gorivo zbog različitih priključnih otvora za punjenje.

Kao za benzin i diesel, na armaturnoj ploči je montiran indikator količine autoplina u spremniku. Vozila na UNP koriste benzin i UNP iz odvojenih spremnika, tako da se automatski prelazi na drugo gorivo prilikom nestanka trenutno korištenog goriva, čime je vozilu osigurana dvostruko veća autonomija vožnje.

Sigurnost opskrbe UNP-om svakodnevno se povećava izgradnjom novih punionica, bilo uz postojeće benzinske postaje ili kao zasebne punionice smještene na prikladnim mjestima za distribuciju UNP-a. Prema podacima Svjetskog udruženja za UNP u svijetu je instalirano oko 40.000 punionica autoplina, od kojih se oko 60% nalazi u Europi. [3]



Slika 2.12. Punionica UNP-a [4]

## 2.8. Prednosti i nedostaci korištenja UNP-a

### Prednosti korištenja UNP-a za pogon vozila u odnosu na konvencionalna goriva:

- Ekonomičnost (oko 50% jeftinija cijena energenta )
- Infrastruktura i logistika (pouzdana proizvođači opreme za uporabu UNP-a i razgranata mreža punionica)
- Sigurnost (više temperature zapaljenja, sigurniji spremnici)
- Ekološkičnost (značajna smanjenja emisija štetnih plinova)

### Nedostaci korištenja UNP-a za pogon vozila u odnosu na konvencionalna goriva:

- Cijena ugradnje UNP sustava (6000 – 12000 kuna) i potreban broj kilometara za povrat investicije
- Određeni broj nestručnih serviseri, bez kvalitetne obuke, pripreme i znanja
- Opasnost od ugradnje dijelova lošije kvalitete zbog manje cijene i dodatne zarade od strane montera
- Potrebno obavljanje dodatnih tehničkih pregleda i plaćanje atesta sustava
- U slučaju ugradnje većeg spremnika dolazi do gubitka prtljažnog prostora
- Smanjenje snage vozila pogonjenog UNP-om od 4 do 7% uz povećanje potrošnje od oko 10%



Slika 2.13. Ugradnja UNP-a [8]

### **3. Motori s unutarnjim izgaranjem te njihovo podmazivanje**

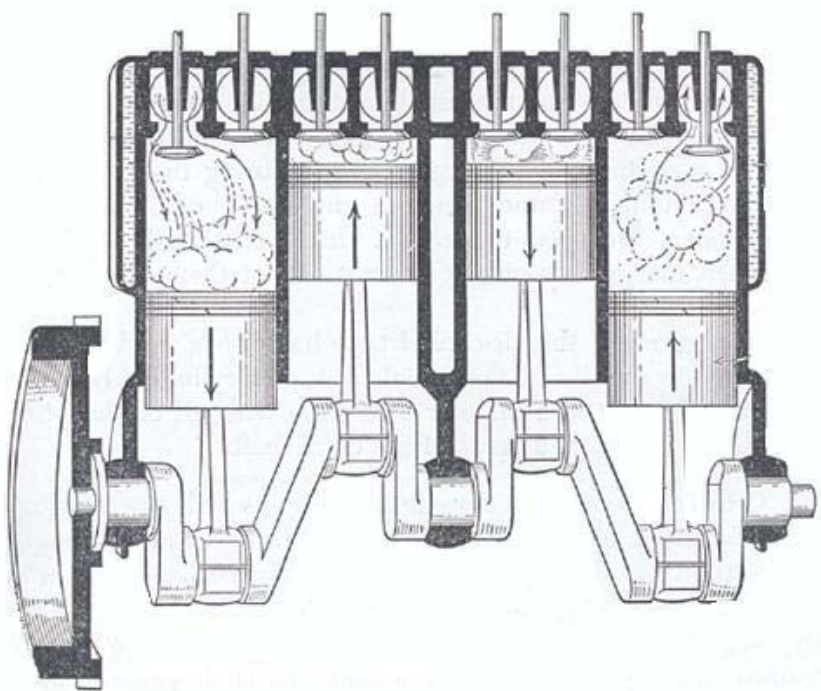
#### **3.1. Osnovni princip rada motora**

Motori s unutarnjim izgaranjem smatraju se najefikasnijim strojevima koji kemijski energiju goriva pretvaraju u mehanički rad neposrednim putem. Kao pogonski strojevi koriste se u prometu, poljoprivredi, industriji, rudarstvu i građevinarstvu.

Prema načinu rada, dovođenju i paljenju goriva, motori s unutarnjim izgaranjem dijele se u dvije osnovne vrste; Otto i Diesel motore. I jedni i drugi mogu biti izvedeni kao četverotaktni i kao dvotaktni motori.

Vitalni dijelovi kod svih motora s unutarnjim izgaranjem su; kućište, cilindri, klipovi, klipnjače, osovine, radilice, ventili i ležaji. Ostali dijelovi grupirani su u raznim sistemima kao što su sistem za dovod i pripremu goriva, sistem za hlađenje, sistem za podmazivanje, sistem za ventilaciju i elektro sistem.

Kod četverotaktnih motora jedan radni ciklus obavi se u četiri takta ili kretanja klipa od jedne do druge mrtve točke. Prema funkciji ti taktovi nazivaju se usisavanje, kompresija, izgaranje i ispuhivanje, kod čijih se odvijanja osovina radilice okrene dva put po 360°.



Slika 3.1. Skica motora s unutarnjim izgaranjem [9]



### **3.2. Sistemi podmazivanja**

Kod motora s unutarnjim izgaranjem postoji veliki broj pokretnih i stacionarnih dijelova koje treba podmazivati, hladiti i zaštititi od istrošenja i oštećenja.

Sistem koji se najčešće koristi za podmazivanje je kružni pod tlakom koji ostvaruje zupčasta pumpa smještena u karteru motora. Dijelovi sistema podmazivanja su: spremnik ulja (karter), pumpa za ulje, cjevovod s uljnom mrežicom, hladnjak ulja, prelivni ventil, prečistači ulja, nepovratni i prelivni ventili, glavni razvodni kanal za ulje, pomoćni kanal za ulje. Dijelovi motora koji se podmazuju su: koljenasta osovina, bregasta osovina, ventilski mehanizam (podizači, klackalice i ventili), klip s klipnim prstenima, cilindri, ventil natpritiska, brizgaljka za rashladno ulje kod nekih većih motora, pumpa za ubrizgavanje goriva kod dizelskih motora, kompresor za zrak kod većih motora, regulacijski ventil, pokazivač tlaka i temperature.

### **3.3. Funkcije mazivog ulja u motoru**

Na motorno ulje koje mora osigurati ispravan i dugotrajan rad motora postavljaju se višestruki zahtjevi; mora podmazivati, hladiti, brtviti, ispirati, suzbijati koroziju i druga oštećenja.

Ulje s kojim se vrši podmazivanje mora otpore trenja kod gibajućih dijelova svesti na najmanju mjeru kod čega je najviše zastupljeno samo trenje unutar ulja tj. hidrodinamsko trenje. Kod motornog ulja za ispunjenje ovog zahtjeva bitnu ulogu ima njegova viskoznost i indeks viskoznosti.

Hlađenje – Pored posebnog sistema hlađenja motora, jednim dijelom u odvođenju topline učestvuje i motorno ulje. Iako svi motori s unutarnjim izgaranjem imaju posebne sisteme za hlađenje gdje se kao rashladni medij koristi tekućina ili zrak, motorno ulje ima značajno mjesto u odvođenju topline budući da je ono za razliku od rashladnog medija u rashladnom sistemu u izravnom dodiru s najzagrijanijim površinama u svakom motoru. Zbog ovog dodira je izloženo visokim temperaturama koje izazivaju degradaciju kvalitete ulja. Viskoznost ulja je i ovdje osnovna karakteristika o kojoj ovisi efikasnost odvođenja topline. Manje viskozna ulja bolje odvede toplinu.

Brtvljenje – Treći bitni zadatak ulja u motoru. Da bi se ekspanzijska moć plinova koji nastaju izgaranjem goriva u fino raspršenom stanju i potrebnog zraka što više iskoristila u vidu korisnog mehaničkog rada, treba im onemogućiti slobodan prolaz između pokretnog klipa i stacionarnog cilindra i to iz prostora iznad klipa u prostor ispod klipa tj. u karter motora.

Ispiranje je svojstvo kvalitetnih motornih ulja koje se postiže dodavanjem detergentski disperziranih aditiva u ulje. Djelovanje se očituje u tome što takva ulja čiste, ispiru i drže u disperziranom stanju taloge, garež i onečišćenja što bi se inače nakupljalo na osjetljivim dijelovima motora. Na čistoću motora značajan utjecaj ima i bazno motorno ulje preko svojih termičko-oksidacijskih i solventnih svojstava.

### **3.4. Talози u motoru**

Mehanizam nastajanja taloga vezan je uz rad motora. Za vrijeme korištenja u motoru se pojavljuju talozi i naslage od nečistoća koje dolaze izvana, te od stvorene gareži, produkata oksidacije ulja, smola, lakova i ostalog u čemu sudjeluju goriva i maziva kao osnovne tvari koje se koriste u motoru za njegov pogon i podmazivanje. Posebnim praćenjem višestrukih laboratorijskih i eksploatacijskih ispitivanja, dokazano je da se sastav taloga na pojedinim dijelovima motora međusobno razlikuje. Talozi u obliku gareži u prostoru za izgaranje goriva pretežno su uvjetovani neispravnim izgaranjem i kvalitetom goriva.

S obzirom na izvor, tijekom stvaranja taloga u motorima s unutarnjim izgaranjem ide ovim redom:

Gorivo: izgaranje, produkti izgaranja, produkti bogati ugljikom, talozi od goriva.

Mazivo: oksidacija i termička razgradnja, produkti oksidacije, lakovi i naslage, talozi od maziva.

Osnovni medij i nosilac taloga koji i sam sudjeluje u njihovu stvaranju je motorno ulje. Primarni izvor zagađivanja motornog ulja je plinovita smjesa produkata izgaranja sagorive smjese goriva i zraka, koja uslijed propusnosti klipnih prstenova prolazi iz prostora iznad u prostor ispod klipa. Tu se smjesa miješa s uljem i kviri njegova svojstva.

### **3.5. Onečišćenja bogata ugljikom**

Kao onečišćenje među produktima izgaranja goriva najzastupljeniji su razni oblici ugljikom bogatih tvari koje u stvaranju taloga imaju značajan utjecaj, a stvaraju i crnu boju. U motorima s unutarnjim izgaranjem, ugljik i njime bogate tvari pojavljuju se u tri oblika i to kao čađa, tvrdi koks i kristalični ugljik.

Čađa je praškasti talog koji nastaje izgaranjem prebogate smjese goriva i zraka tj. pri osjetnom nedostatku kisika. Taloži se na kruni klipa, stijenkama komora za izgaranje, ventilima i utorima za prstenova na klipu. Lako se skida s površina.

Tvrdi koks se stvara procesom termičkog cijepanja pri izgaranju goriva u zoni vrlo visokih temperatura. Tako stvoreni koks vrlo je tvrd i kad se nađe među gibajućim površinama u obliku sitnih čestica, uzrokuje odnošenje materijala s njih tj. uzrokom je abrazivnih trošenja.

Kristalični ugljik nastaje kristalizacijom ugljikovih atoma u za to povoljnim okolnostima. Količina i veličina tako zastupljenog ugljika ovisi o vrsti ugljikovodika od kojih je sastavljeno gorivo kao i o količini sumpora, vanadija i asfaltena u gorivu.

### **3.6. Ugušćivanje ulja**

Ugušćivanje ulja se pripisuje oksidacijskim promjenama u ulju kod visokotemperaturnih režima rada motora. Međutim, ugušćivanje ulja nastaje i uslijed suspendiranih krutih čestica u ulju. Odražava se u trajnoj promjeni viskoznosti pri čemu suspendirane čestice imaju na to značajan utjecaj. Promjena viskoznosti u ovisnosti o temperaturi ima negativnu ulogu u distribuciji i kretanju čestica po raznim dijelovima motora, pri čemu se ostvaruje transfer taloga.

Povećanje i okrupnjivanje čestica u motornom ulju može, uz permanentnu pojavu laganijeg ili intenzivnijeg porasta viskoznosti i gustoće ulja, izazvati u jednom trenutku začepljenje i blokiranje filtera u sistemu za pročišćavanje ulja, nakon čega slijede sve već dobro poznate neugodne i opasne posljedice za sam motor.

### **3.7. Suzbijanje korozije**

Dobro motorno ulje mora imati svojstvo da zaštiti dijelove motora od korozije kako u stanju kretanja tako i u stanju mirovanja. Do pojave korozije na motornim dijelovima dolazi zbog nekoliko razloga, najvažniji su: konstruktivne karakteristike samog motora, vrsta, broj i kvaliteta materijala pojedinih motornih dijelova, uvjeti rada pod kojim se motor eksploatira, kvaliteta goriva i maziva kao i redovitost održavanja motora.

U plinovima izgaranja pored vode ima i plinova sumpornog dioksida i trioksida koji s vodom u ulju stvaraju vrlo agresivne kiseline, i to sumpornu i sumporastu, koje na metalnim dijelovima motora izazivaju jake korozije i korozivna istrošenja. Zbog toga je redovito mjenjanje ulja iznimno važno.

Intenzitet korozije ovisi o više faktora, a najvažniji su: da li je vozilo smješteno u zatvorenoj i suhoj prostoriji, od koliko vrsta i kakvih materijala su izrađeni dijelovi motora, kakvo gorivo i mazivo se upotrebljavaju i od uvjeta rada vozila.

Svako motorno ulje vrlo rado apsorbira u sebe produkte izgaranja kao i ostale plinove koji dolaze u karter motora, naročito kod povišenih temperatura, tako da u njemu ima spojeva i s kisikom i sa sumporom koji izazivaju pojavu taloga i koroziju. Da bi se spriječile nepoželjne posljedice korozije, pogotovo kod vozila koje su dulje vremena u mirovanju, treba poduzeti odgovarajuće mjere i u motoru upotrijebiti ulje s naročito izraženim svojstvima unutarnje zaštite motora od korozije. Kombinacija uobičajenih i antikorozivnih svojstava ovih specijalnih ulja omogućuje njihovu upotrebu i u slučajevima kada vozilo mora biti zaštićeno kroz duži vremenski period od korozije a u isto vrijeme može se povremeno voziti i eksploatirati pod blagim režimom rada motora.

### **3.8. Uzroci povećane potrošnje ulja**

Svaki motor u svom radu mora trošiti izvjesnu količinu ulja, ta potrošnja kod novih motora ovisi o konstrukciji, a kod onih u upotrebi i o mehaničkom stanju motora. Ovisno o tipu i konstrukciji dozvoljena potrošnja kreće se od 0,3 do 1. litre na tisuću prijeđenih kilometara. Međutim, ovisno o istrošenosti motora, potrošnja može biti i veća.

Klipovi mogu biti istrošeni po svom plaštu uslijed trenja, a klipni utori na njima uslijed udaranja prstenova kod promjene smjera gibanja klipa od jedne do druge mrtve točke. Kod konstrukcija motora s većim brojem okretaja ova istrošenja su veća. Klipni prstenovi u ovako istrošenim kanalima djeluju kao pumpa koja prepumpava ulje iz prostora ispod njih u prostor za izgaranje goriva u kome ulje izgori.

Klipni prstenovi uslijed istrošenosti i deformacija mogu izgubiti elastičnost i smanjiti kompresibilnost motora. Zapečeni i stegnuti prsteni ovu kompresibilnost još više smanjuju što direktno utječe na potrošnju ulja.

Ventili, uslijed istrošenosti i deformacija njihovih glava i vretena te povećane zračnosti u vodilicama izazivaju u jakoj mjeri potrošnju ulja i stvaranje većih naslaga na tijelu ventila.

Ležaji zbog većih istrošenja i povećane zračnosti omogućuju jače propuštanje ulja, pad tlaka u sistemu za podmazivanje i lupanje u motoru.

### **3.9. Zamjena ulja u motoru**

Na vijek trajanja ulja u motoru utječe niz faktora od kojih veći i značajniji utjecaj ima količina ulja koja stane u karter. Što je veća količina ulja u motoru, to je i vrijeme njegove upotrebljivosti veće jer je broj opticaja ulja u jedinici vremena manji za vrijeme rada motora i cirkulacije ulja u njemu. Na taj način je i vrijeme izloženosti ulja štetnim utjecajima manje. Kvalitativne promjene u smjeru pogoršanja kod ulja, a ovisno o tim štetnim utjecajima odražavaju se na pojavi onečišćenje ulja prašinom, metalnim strugotinama, gorivom, vodom, ugljikovim spojevima te istrošenjem aditiva i oksidacijsko – polimerizacijskim promjenama cijelog ulja.

Za neku određenu kvalitetu motornog ulja ne može se dati opća i jednaka preporuka s istim periodom zamjene za sve vrste i tipove motora u kojima se dotično ulje upotrebljava. Preko analiza se može utvrditi stanje i daljnja upotrebljivost ulja ali i stanje motora i njegovih dijelova u vezi s ispravnom funkcionalnošću i istrošenošću. Dozvoljene granice do kojih se smije ulje držati u motoru ovise o kvalitetnoj razini upotrebljenog ulja, konstrukciji motora te uvjetima rada i eksploatacije. Iz tog razloga ni kriteriji pojedinih proizvođača motora i motornih ulja nisu jednaki. Najčešće korišten kriterij za zamjenu ulja više kvalitetne razine je sljedeći:

- Viskoznost kod 100°C ne smije pasti ispod 25%, niti se povećati više od 30%
- Ukupni bazni broj ne smije pasti ispod 1
- Točka paljenja ne smije se sniziti više od 25%
- Količina vode ne smije biti iznad 0,2%
- Razrjeđenje gorivom može biti 5-6 %

Dozvoljene količine metala preko kojih se kontrolira istrošenost motornih dijelova:

- Željezo ne preko 500 ppm. Normalno je 150 ppm
- Aluminij ne iznad 60 ppm. Normalno je ispod 25 ppm
- Bakar ne iznad 75 ppm. Normalno je 30 ppm.
- Silicij ne iznad 25 ppm [9]

## ***4. Praćenje stanja motora i kvalitete izgaranja***

### **4.1. Analiza ispušnih plinova – Eko test**

Analiza ispušnih plinova vozila započela je šezdesetih godina u Kaliforniji koja je jedna od vodećih zemalja u primjeni alternativnih goriva. U današnje vrijeme analizom ispušnih plinova bave se sve razvijene zemlje svijeta. Hrvatska također provodi analizu ispušnih plinova iako nema tu obvezu pošto nije članica Europske Unije.

Ispušni plinovi vozila koji sudjeluju u zagađenju okoliša moraju biti podvrgnuti periodičkom ispitivanju kako bi se ustanovilo da li je tijekom korištenja vozila došlo do povećanja koncentracije ispušnih plinova. Ispitivanje ukazuje i na pojedine nepravilnosti izgaranja goriva ukoliko su one prisutne. Ispitivanje se provodi za vrijeme redovitog tehničkog pregleda i obavlja ga ovlaštena osoba. Zadovoljavajući rezultat ispitivanja ujedno je i uvjet za prolazak tehničkog pregleda.

Prema odredbama predmetnog Pravilnika obvezi EKO testa podliježu:

1. osobni automobili
2. autobusi
3. kombinirani automobili
4. teretni automobili
5. radna vozila

Obveze EKO testa oslobođena su sljedeća vozila:

1. vozila opremljena benzinskim dvotaktnim motorima
2. vozila opremljena benzinskim motorima proizvedena prije 1970. godine
3. vozila opremljena benzinskim motorima ako im konstrukcijska brzina nije veća od 50 km/h
4. vozila opremljena dizelskim motorima proizvedena prije 1980. godine
5. vozila opremljena dizelskim motorima ako im konstrukcijska brzina nije veća od 30 km/h
6. vozila opremljena alternativnim pogonskim motorima ili izvorom energije (vodik, metan, propan-butan, gorive ćelije, elektromotor i sl.)
7. motocikli
8. radni strojevi
9. traktori

#### 4.1.1. Eko test benzinskih motora

Benzinski motori dijele se u dvije skupine s obzirom posjeduju li lambda sondu ili ne. Glavna značajka koja svrstava vozilo u jednu od skupina nije katalizator, nego lambda sonda na ispušnoj grani. Prva skupina motora naziva se skupina sa REG-KAT motorima, ( na ispušnoj grani imaju lambda sondu i katalizator), a druga skupina naziva se skupina BEZ-KAT motora (svi oni koji nemaju katalizator ili imaju neregularni katalizator).

Ispitivanje ispušnih plinova REG-KAT motora obavlja se u dvije faze. Prva faza ispitivanja obavlja se na radnoj temperaturi motora, pri povećanoj brzini vrtnje, a druga faza ispitivanja obavlja se na radnoj temperaturi u praznom hodu motora. Kod ovakvih motora bitno je da se zahtjevane vrijednosti plinova mogu dobiti samo ukoliko je prethodno izvršeno progrijavanje katalizatora.

Ako podaci proizvođača o zahtjevanim vrijednostima nisu poznate, ispitivanje se obavlja prema zakonskim vrijednostima. [10]

Tablica 4.1. Zakonski zahtjevane vrijednosti eko testa za skupinu REG-KAT [10]

REG-KAT	
pri temperaturi motora = 80°C	
progrijavanje katalizatora minimalno 1 min	
povećana brzina vrtnje (2500 - 3000 min <sup>-1</sup> )	prazni hod
CO= 0,3%	CO= 0,5%
faktor zraka $\lambda = 1 (\pm 0,03)$	

BEZ-KAT motori ispituju se samo pri radnoj temperaturi u praznom hodu motora, pri čemu su dopuštene koncentracije ugljičnog monoksida (CO) propisane od strane proizvođača.

Ako podaci proizvođača nisu poznati sadržaj ugljičnog monoksida (CO) u ispušnim plinovima ne smije prelaziti 4,5% volumenskog udjela za vozila proizvedena 1986. godine i starija, odnosno 3,5% volumenskog udjela za vozila proizvedena 1987. godine i mlađa, pri minimalnoj temperaturi motora od 80°C. [10]

Tablica 4.2. Zakonski zahtjevane vrijednosti eko-testa za skupinu BEZ-KAT [10]

BEZ-KAT	
pri temperaturi motora = 80°C	
prazni hod	
1986. godina i starija	1987. godina i mlađa
CO= 4,5%	CO= 3,5%

#### 4.1.2. Eko test diesel motora

Mjerenja srednjeg koeficijenta zacrnjenja obavljaju se tako da se motor zagrije na radnu temperaturu, te nakon toga slobodno ubrzava od brzine vrtnje u praznom hodu do najveće brzine vrtnje i to najmanje tri puta. Sondom za uzimanje uzoraka postavljenom u ispušnu granu dobiva se signal na analizatoru koji proračunava vrijednost srednjeg koeficijenta zacrnjenja ( $k$ ). Ako podaci proizviđača o radnoj temperaturi i vrijednosti srednjeg koeficijenta zacrnjenja nisu poznati uzimaju se zakonske vrijednosti. [10]

Tablica 4.3. Zakonski zahtijevane vrijednosti eko test za skupinu Diesel [10]

DIZEL	
pri temperaturi motora = 80°C	
bez prednabijanja	s prednabijanjem
$k = 2,5 \text{ m}^{-1}$	$k = 3,0 \text{ m}^{-1}$

Osim cijelogodišnjeg održavanja auta vozači sami mogu utjecati na bolji rezultat.

Najbitnije je da automobil na testiranje dođe zagrijan i propuhan. Preporučuje se neposredno prije dolaska na ekotest automobil punim gasom provesti autocestom. Nakon propuhivanja na velikom broju okretaja, zacrnjenje se može smanjiti čak i do tri puta, za razliku od auta koji je dovezen na mjerenje neposredno nakon vožnje po gradskim ulicama. Na bolji rezultat ekotesta može utjecati i izmjena filtera zraka. S novijim filterom zraka goriva smjesa je kvalitetnija i bolje izgara, pa je manje štetnih plinova prisutno.



## 5. Ferografija

Ferografija kao analitička metoda za odvajanje i određivanje sadržaja željeznih čestica uvedena je u praksu sedamdesetih godina prošlog stoljeća. Ova analitička metoda je bila podjednako zanimljiva inženjerima koji se bave podmazivanjem i trošenjem metala, ali i znanstvenicima na području medicine. Prvi instrumenti za ferografiju bili su u mogućnosti iz mazivog ulja, ili druge tekućine, utjecajem magnetskog polja odvojiti željezne čestice promjera od 20 nm pa sve do nekoliko  $\mu\text{m}$ . Utvrđivanje količine i veličine metalnih čestica u rabljenom motornom ulju dalo je odgovore na brojna pitanja i potaklo daljnja istraživanja i unapređivanja analitičkih tehnika na tom planu. Ferografija je tako omogućila:

- izdvajanje metalnih čestica i njihovo svrstavanje prema veličini

- osnovne informacije o četiri glavne karakteristike čestica – o količini, veličini, morfologiji i sastavu

- uvođenje novog morfološkog opisa čestica nastalih trošenjem metala i boljeg poznavanja načina i uzroka trošenja metala

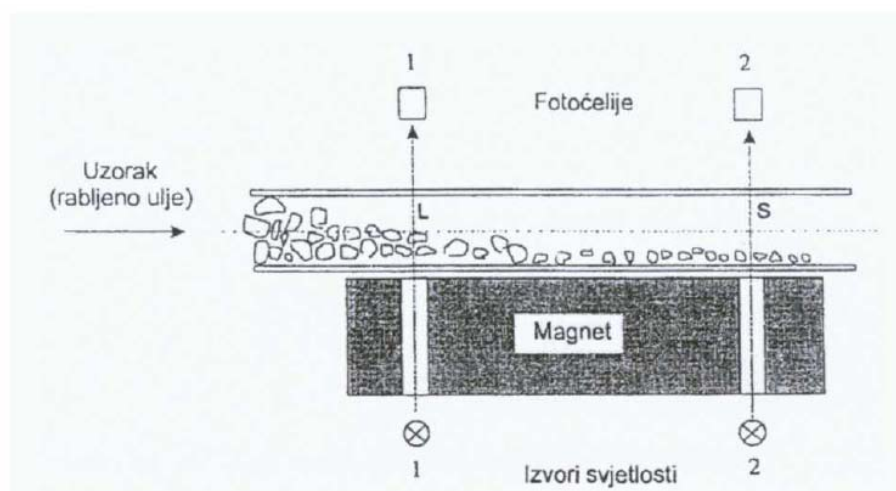
Ferografski postupak se sastoji od pumpanja mazivog ulja koje se ispituje vrlo malom brzinom (obično oko 0,25 ml u sekundi) u blizini vrlo jakog magnetskog polja, koje djeluje na metalne čestice i sakuplja ih na podesnom transparentnom nosaču. Razvoj ove metode je omogućio i izdvajanje metalnih čestica ne samo iz ulja za podmazivanje, nego i iz mazivih masti, ispušnih plinova motora s unutarnjim izgaranjem, pa čak i iz bioloških materijala.

Utjecajem magnetskog polja izdvojene čestice se mogu na razne načine, koristeći razne tehničke postupke, dalje analizirati. Za to se koriste optičke tehnike, ali i spektrofometrija za određivanje količine čestica. Spektrometrijske metode su dale uvid u sadržaj drugih metala u česticama, u prvom redu bakra, iz čega se moglo zaključiti koji su dijelovi motora u pojedinom slučaju najviše izloženi trošenju materijala.

Na medicinskom planu su napredne ferografske metode dale uvid u ponašanje virusa u ljudskom organizmu, pa čak i u praćenje specifičnih bolesti kao što je AIDS. Razvoj ferografije kao analitičkog postupka, posebno unaprijeđenog primjenom računala, dao je velik doprinos ne samo tehnici podmazivanja, nego i mnogim drugim segmentima suvremene znanosti. [11]

### 5.1. Indeks sadržaja čestica trošenja (WPC)

Indeks sadržaja čestica trošenja WPC (Wear Particle Content – sadržaj čestica trošenja) određuje se pomoću ferografa s direktnim očitanjem.



Slika 5.1. Princip rada ferograma s direktnim očitanjem [12]

Uzorak rabljenog ulja u kojem su prisutne čestice trošenja teče iznad jakog magneta koji privlači metalne čestice, posljedica čega je njihovo taloženje na dno staklene cijevčice. Prvo dolazi do taloženja većih čestica, dok se male čestice talože nešto kasnije zato što je sila u magnetskom polju proporcionalna njenom volumenu, a otpor gibanju kroz medij proporcionalna je površini presjeka čestica poprečno na smjer gibanja kroz medij. Istraživanja su pokazala da je omjer malih i velikih čestica, koji ostaje približno konstantan sve dok je proces trošenja nepromijenjen, zanimljiva karakteristika procesa trošenja. [12]

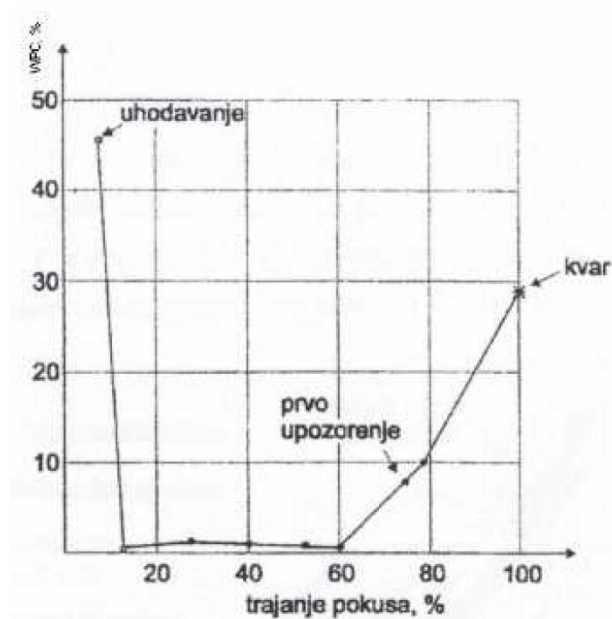
Indeks WPC očitava se direktno na instrumentu, a određuje se pomoću izraza [12]

$$WPC = D_L + D_S, \%$$

gdje je:

- WPC – indeks sadržaja čestica trošenja, %
- $D_L$  – površina prekrivena većim česticama, %
- $D_S$  – površina prekrivena manjim česticama, %

Slika 5.2. prikazuje promjenu indeksa sadržaja čestica trošenja

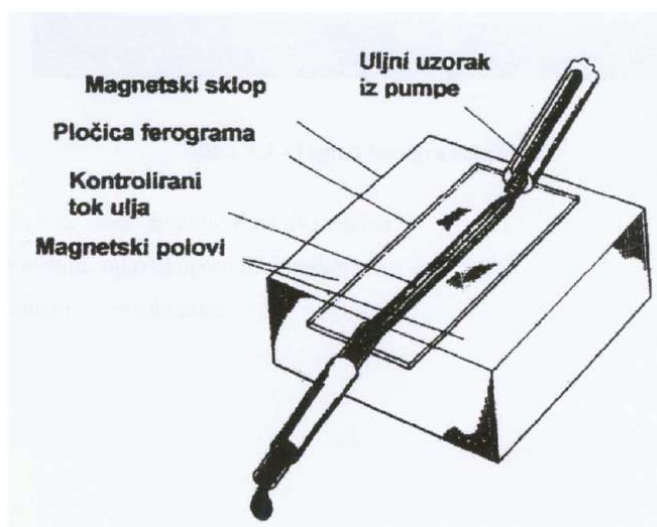


Slika 5.2. Promjena indeksa intenzivnosti trošenja [7]

Iz slike se dolazi do zaključka da nagli porast sadržaja čestica trošenja inicira na nepravilnosti samog procesa trošenja. Na taj način moguće je ustanoviti nepravilnosti prije nego dođe do ozbiljnijeg oštećenja unutar promatranog tribosustava. Prvo upozorenje javlja se na % ukupnog trajanja pokusa što daje dovoljno vremena za intervenciju, sprječavanje kvara i ozbiljnijih oštećenja.

## 5.2. Analiza ferrograma

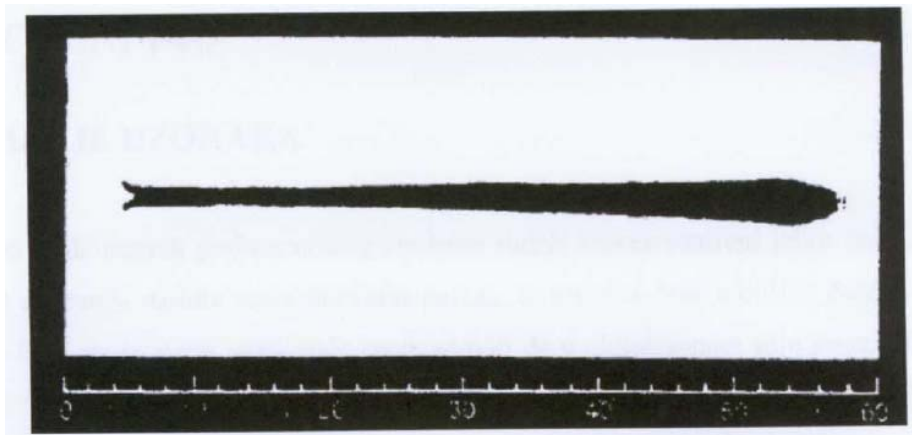
Ferograf s direktnim očitanjem služi za rutinsku kontrolu stanja procesa trošenja. Kad se pomoću ferrografa uoči nepoželjna promjena, daljnje analize se dobivaju analizom ferrograma. Ferrogram se dobiva propuštanjem uzorka medija na staklenu pločicu ispod koje je jak magnet, kako je prikazano na slici 5.3.



Slika 5.3. Shema dobivanja ferrograma [12]

Čestice se talože na pločicu selektivno po veličini. Ova pojava je izraženija kod magnetskih materijala tako da se velike, a slabo magnetske čestice mogu naći izlučene cijelom dužinom ferrograma. Čestice neželjeznih materijala ili nemetala postaju ograničeno magnetske prijenosom željeznih materijala ukoliko rade u međusobnom dodiru. Čak i potpuno nemagnetske čestice mogu se izlučiti iz medija nosača. [12]

Nakon što je izlučivanje čestica završeno, ostatak medija se ispire otapalom, a čestice učvrste na stalku sredstvom za učvršćivanje. Tako dobivena pločica s česticama izlučenim po veličini naziva se ferrogram. Izgled je prikazan slikom 5.4.



Slika 5.4. Izgled ferograma [12]

Ferogram se može analizirati:

- bikromatskim mikroskopom ili feroskopom
- skenirajućim mikroskopom

## **6. Eksperimentalni dio rada**

Zadatak završnog rada bio je praćenje stanja motora pogonjenog ukapljenim naftnim plinom i usporedba s jednakim motorom pogonjenim benzinom. Praćenje stanja oba motora izvršeno je analizom ulja na uzorcima iz oba vozila

Ispitivanje je provedeno na dva jednaka automobila marke VW Golf V 1.6 sa 101-om konjskom snagom. Vozila su u vlasništvu Ministarstva gospodarstva, rada i poduzetništva.



Slika 6.1. VW Golf pokretan UNP-om



Slika 6.2. VW Golf pokretan benzinom

Iz svakog vozila uzorci su uzeti 12 puta, a praćenje stanja motora nastaviti će se i nakon ovog rada, jer je potrebno dugotrajno praćenje sustava da bi se dobili što vjerodostojniji podaci za usporedbu trošenja motora pokretanih UNP-om i benzinom.

## 6.1. Uzimanje uzoraka

Od velike je važnosti da uzorak podmazujućeg sredstva koje se podvrgava ispitivanju bude što transparentniji. Samom uzimanju uzoraka treba posvetiti dosta pažnje jer je moguće da dođe do pogrešaka zbog kojih kasnije ili ne dobivamo stvaran uvid u promatrani sustav ili se smatra točnim, a ustvari je pun pogrešaka.

Postoje dva tipa pogrešaka koje se događaju pri uzimanju uzoraka ulja iz bočica, a oba su povezana sa sklonosti taloženja čestica;

-Ako je uzorak povučen s dna spremnika, može doći do toga da dobijemo čestice velikog volumena kao posljedica taloženja

-Ako je uzorak povučen iz glavnog dijela tekućine, nakon isključenja motora postoji mogućnost dobivanja čestica premalog volumena, također kao posljedica taloženja

Prilikom ispitivanja, vrlo lako može nastupiti određena pogreška, te je vrlo uputno pridržavati se točnih uputa prilikom rada:

1. Uzorak bi trebalo uzimati dok motor radi. Ako to nije moguće, onda odmah nakon gašenja motora
2. Zbog potonuća velikih čestica na dno, preporučuje se uzeti uzorak što bliže dnu spremnika, no pritom valja izbjeći čestice ili mulj s dna spremnika. Odmak od otprilike 3 cm od dna je poželjan
3. U slučaju korištenja jedne cijevi za uzimanje uzorka, potrebno ju je nakon svake upotrebe očistiti i pripremiti za sljedeći uzorak kako nebi došlo do miješanja
4. Ako se koristi uspravno stojeća cijev za uzimanje uzoraka, poželjno je savinuti kraj, tako da čestice ne ulaze neposredno u cijev

## 6.2. Pohrana uzoraka

Prilikom pohrane uzoraka, poželjno je da boca za uzorke sadrži najmanje 15 ml, te da je izrađena od prozirnog stakla plosnatih stijenki na stranama. Prednost plosnatih stijenki i prozirnog stakla leži u mogućnosti vizualne kontrole uzoraka. Vizualnom kontrolom moguće je kontrolirati

1. Boju; oksidacija kao posljedica pregrijavanja ili degradacija sredstava za podmazivanje, općenito zatamnjuje ulje
2. Stupanj stvaranja mulja nakon pohrane uzoraka
3. Vrlo ozbiljne slučajeve trošenja – mogu se vidjeti vrlo velike pojedinačne čestice trošenja
4. Prisutnost stranih tekućina u ulju

Posude od polimernih materijala se ne koriste iz razloga što polimerni materijali u dodiru s uljem mogu onečistiti uzorak polimernim česticama, različitim gelovima i korozivnim tekućinama. Polimerne posude mogu postati ljepljive i na taj način zadržati čestice trošenja na svojoj unutrašnjoj površini. Kao posljedica toga, uzorak može postati nekoristan.

U ovom ispitivanju uzorci su pohranjeni u prozirne staklene bočice, a na svakoj bočici zabilježeni su podaci

-Oznaka vozila (vrsta pogonskog goriva)

-Broj prijeđenih kilometara

-Datum uzimanja uzorka

Uzorci su prikazani slikom



Slika 6.3. Pohranjeni uzorci



### 6.3. Oprema za ispitivanje

Ispitivanja su provedena na ferrografu PMA 90 S s direktnim očitanjem u Laboratoriju za tribologiju, Zavoda za materijale, Fakulteta Strojарstva i brodogradnje.



Slika 6.4. Ferrograf s direktnim očitanjem PMA 90 S

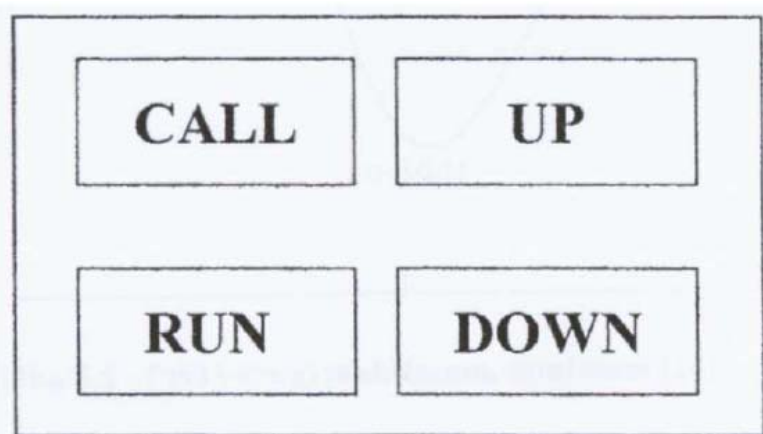
#### 6.4. Priprema uzoraka i uređaja za ispitivanje

Priprema uređaja se razlikuje za motorna, hidraulička, mjenjačka i druge vrste ulja. Ovo ispitivanje odnosilo se na motorno ulje, a priprema se vršila na sljedeći način:

1. Izvuklo se 1 ml rabljenog ulja iz staklenke koje se zatim ispustilo u ispitnu cijev uz dodavanje 1 ml čistog benzina. Zatim se ta mješavina protresla kako bi se homogenizirala. Ispitna cijev se zatim pričvrsti na držač ferograma
2. Druga ispitna cijev se napuni nekorištenim motornim uljem iste gradacije kao i ispitivano ulje. Izmiješa se s čistim benzinom u omjeru 1:1. Ispitna cijev se zatim, također, učvrsti na ferogram
3. Cijeli kapilarni sustav se zatim napuni čistim razrijeđenim uljem i pusti se da cirkulira kroz mjerni sustav
4. Nužna je provjera odsutnosti zračnih mjehurića u kompletnom mjernom sustavu.

#### 6.5. Postupak mjerenja

Pritisne se tipka UP jednom ili više puta, ovisno o volumenu ispitivanog uzorka. Kod motornog ulja jednom. Zatim tipka CALL za kalibraciju čistog razrijeđenog ulja. Pričeka se oko 20 sekundi do pojave zvučnog signala čime se i crvena LED dioda isključuje. Time je izvršena kalibracija i pohranjena u računalnoj memoriji. Korištene tipke prikazane su na slici



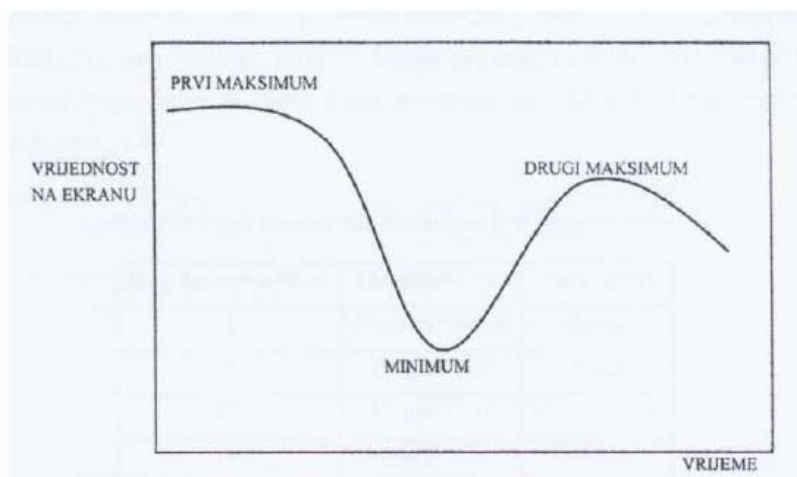
Slika 6.5. Raspored tipki na ferografu PMA 90 S [11]

Odmah nakon zvučnog signala i gašenja crvene LED diode potrebno je premjestiti usisni kraj plastične cijevi iz čistog razrijeđenog ulja u razrijeđeno rabljeno ulje koje ispituujemo – bez

zastajanja. Vrijednosti na ekranu se brzo podižu na prvi maksimum, dosežu vrijednost 4000 ili manje na oba ekrana. Ovaj broj nije potrebno bilježiti jer je pohranjen u memoriji.

Zatim se pričekava da i posljednji ostatak ispitivanog ulja bude uvučen u kapilarnu cijev i zatim se usisni kraj plastične cijevi umetne ponovno u čisto razrijeđeno ulje. Neophodno je postojanje zračnog mjehura dužine 2-5 cm između rabljenog i čistog ulja koje sada ulazi u ispitnu cijev. Vrijeme potrebno za protok jednog uzorka motornog ulja kroz sustav ovisi o viskozitetu ulja. Važno je da približno tipično vrijeme bude oko 4 minute. Ako je vrijeme znatno kraće (manje od 3 minute), postoji opasnost od turbulentnog toka. Tada su rezultati preniski.

U trenutku kad zračni raspored uđe u staklenu kapilarnu cijev, potrebno je pritisnuti tipku RUN. Tada mikroprocesor automatski procjenjuje „drugi maksimum“. Prvi i drugi maksimum prikazani su na slici



Slika 6.6. Prvi i drugi maksimum, minimum [11]

Nakon zvučnog signala, ponovno se pritisne tipka RUN. Na ekranu se sada prikazuje vrijednost  $D_L$  i  $D_S$  u %. Te vrijednosti se zapisuju.

Ponovnim pritiskom tipke RUN moguće je očitati WPC vrijednost na drugom ekranu, što je također potrebno zapisati.

To su ujedno i rezultati ispitivanja.

Nakon zapisivanja rezultata mjerenja potrebno je pritisnuti tipku RESET za brisanje pohranjenih podataka, ukloniti staklenu kapilarnu cijev iz kućišta magneta i cijeli sustav isprati čistim benzinom.

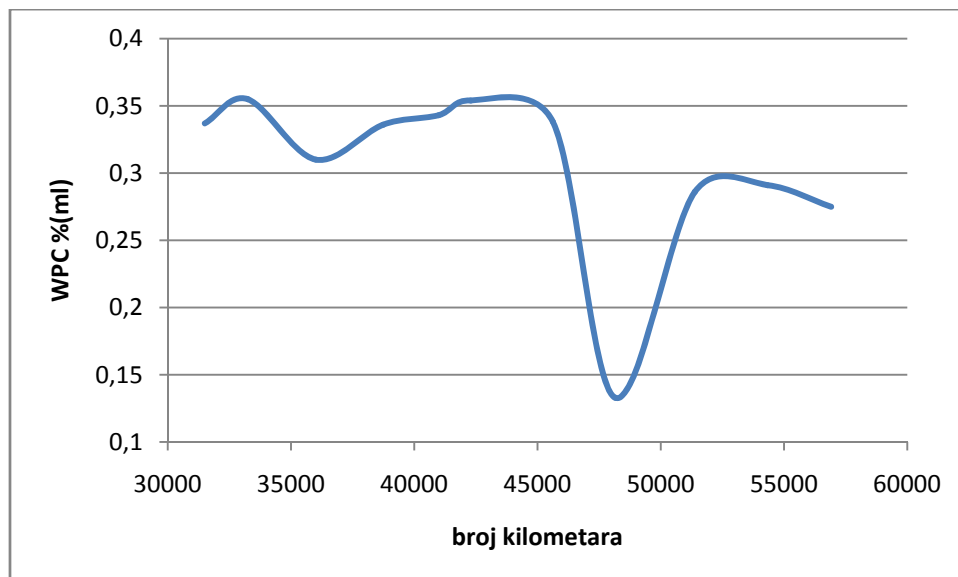
## **7. Rezultati ispitivanja**

### **7.1. Rezultati analize ulja automobila pokretanog UNP-om**

Tablica 7.1. Rezultati analize ulja za automobila pokretan UNP-om

Uzorci ulja (gorivo plin)				
Uzorak	D <sub>L</sub>	D <sub>S</sub>	WPC (%ml)	Prijeđeni km
1	0,171	0,166	0,337	31500
2	0,194	0,161	0,355	33247
3	0,148	0,162	0,31	36009
4	0,175	0,161	0,336	38745
5	0,192	0,151	0,343	40991
6	0,184	0,170	0,354	42290
7	0,188	0,150	0,338	45630
8	0	0,133	0,133	48145
9	0,153	0,133	0,286	51383
10	0,157	0,134	0,291	54333
11	0,145	0,130	0,275	56913

Ovi se podaci dobiveni ferografskom analizom uzorka mogu prikazati u dijagramu iz kojeg je moguće pratiti trend sadržaja čestica trošenja ovisno o prijeđenim kilometrima. Dijagram je prikazan na slici



Slika 7.1. Krivulja indeksa sadržaja čestica trošenja za automobil pokretan UNP-om

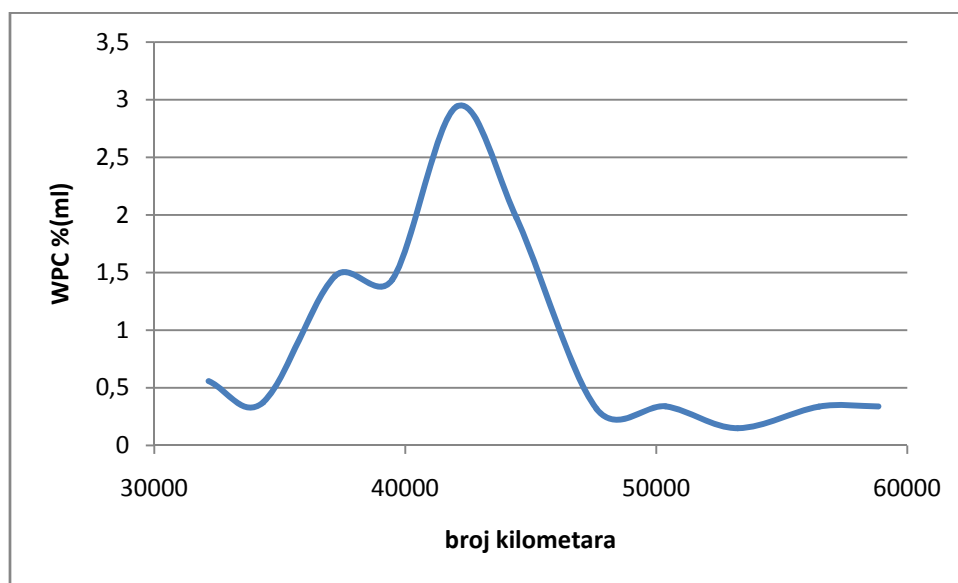
Iz dijagrama se može zaključiti da je sadržaj čestica trošenja otprilike konstantan skoro oko 15000 km, gdje je nakon toga vjerojatno napravljen servis na automobilu, te je s novim uljem i sadržaj trošenja čestica pao na nisku razinu, da bi se opet nakon nekih 5000 km vratio na standardnu prihvatljivu razinu.

## 7.2. Rezultati analize ulja automobila pokretanog benzinom

Tablica 7.2. Rezultati analize ulja automobila pokretanog benzinom

Uzorci ulja (gorivo benzin)				
Uzorak	D <sub>L</sub>	D <sub>S</sub>	WPC (%ml)	Prijeđeni km
1	0,284	0,274	0,558	32167
2	0,120	0,254	0,374	34340
3	0,614	0,856	1,47	37205
4	0,676	0,762	1,438	39481
5	1,111	1,831	2,942	42061
6	0,950	1,023	1,973	44439
7	0,184	0,134	0,318	47621
8	0,183	0,157	0,34	50369
9	0	0,15	0,15	53248
10	0,173	0,164	0,337	56487
11	0,175	0,164	0,339	58854

Podatke u tablici dobivene ferografskom analizom uzorka možemo prikazati u dijagramu iz kojeg je moguće pratiti trend sadržaja čestica trošenja ovisno o prijeđenim kilometrima. Dijagram je prikazan na slici

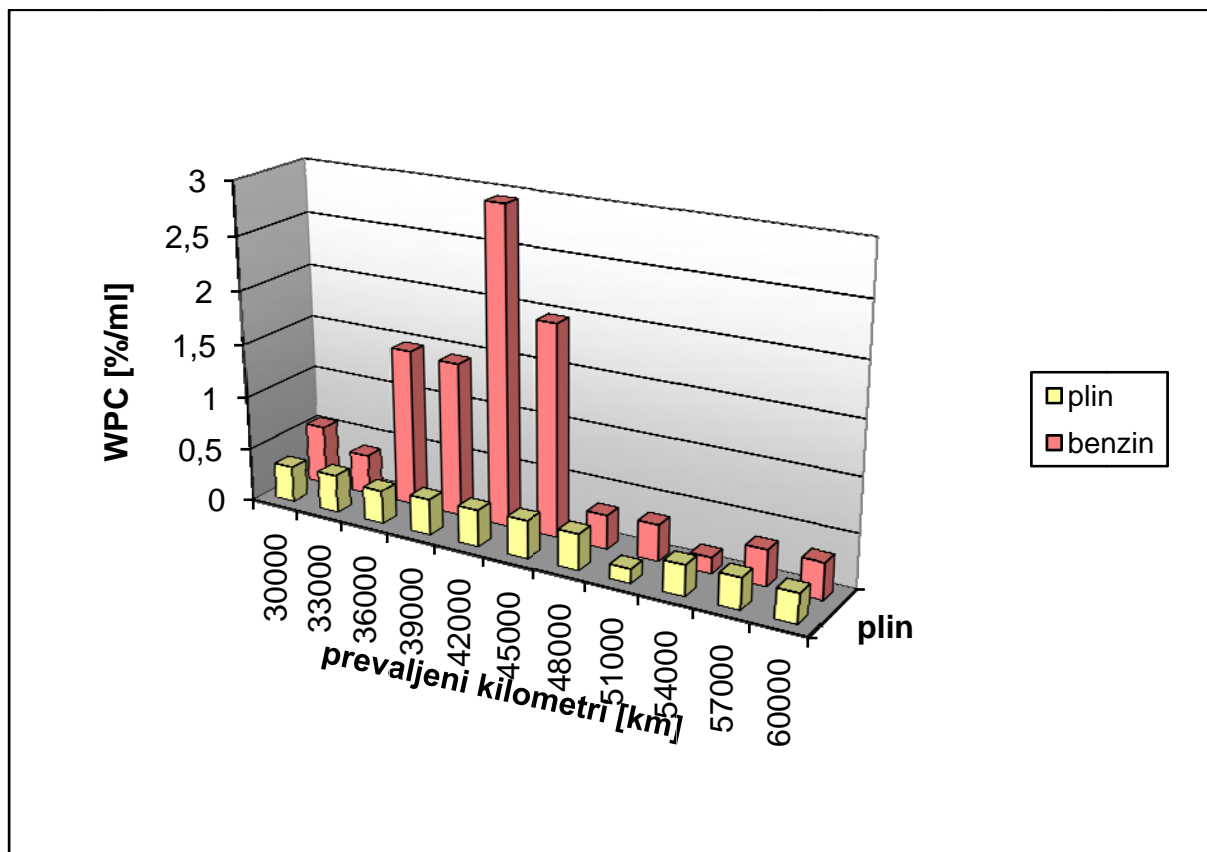


Slika 7.2. Krivulja indeksa sadržaja čestica trošenja za automobil pokretan benzinom

Iz dijagrama možemo zaključiti da je kod motora pogonjenog na benzin situacija malo drugačija. Sadržaj trošenja čestica raste postepeno svakih 5000 km za oko 1% te nakon servisa na automobilu naglo pada na nisku razinu od manje od 0,5% te ostaje u tim okvirima narednih desetak tisuća km.

## 8. Analiza rezultata ispitivanja

Zajednički dijagram za oba tipa goriva. Prikazane su promjene indeksa sadržaja čestica trošenja u ovisnosti o prijađenim kilometrima.



Slika 8.1. Usporedba promjene indeksa sadržaja čestica trošenja u ovisnosti o prijađenim kilometrima

Nakon provedenog ispitivanja sadržaja čestica trošenja u ulju i analize, uočavamo da razlika u sadržaju čestica trošenja kod vozila pogonjenih na plin i benzin postoji, te da je taj sadržaj veći kod vozila pogonjenog na benzin.

Dok je kod vozila pogonjenog na plin taj sadržaj većinom oko 0,3% s jednim izuzetkom oko 45000 km kad je pretpostavljen treći redovni servis vozila, kod vozila na benzin je situacija malo drugačija. Sadržaj trošenja čestica se s 0,5% diže na oko 3% što je puno više nego kod vozila na plin, te se nakon servisa spušta na prvotnu razinu od 0,3-0,4%.



Sigurno da je prilikom uzimanja uzoraka moglo doći do određene pogreške npr prilikom zaustavljanja vozila i gašenja motora uzorak se mora uzeti odmah, jer čestice trošenja brzo padaju na dno (karter) te se tako mogu uzeti uzorci koji nisu reprezentativni. Također, moglo je doći do pogrešnog mjerenja te u radu ferografa.

Kako bi se utvrdio točan uzrok rezultata, jedina metoda bi bila rastavljanje motora i utvrđivanje stanja istrošenosti vitalnih dijelova, no to se može raditi samo u ovlaštenim radionicama i u neku veću svrhu kao što su hard testovi ili testiranje samog proizvođača. Hard testovi, kao danas čest tip testiranja automobila provode većinom specijalizirane automobilske novine koje nakon sto ili dvjesto tisuća kilometara rastave kompletan motor i analiziraju svaki dio te ustanovljuju stanja istrošenosti, kvarove te opće stanje motora kao i ostalih vitalnih dijelova automobila.

## **9. Zaključak**

Analiza stanje istrošenosti motora provodila se na dva jednaka automobila marke Volkswagen Golf s motorom 1.6i snage 101 ks u vlasništvu Ministarstva gospodarstva, rada i poduzetništva.

Nekoliko uvjeta koji su pridonjeli točnosti i transparentnosti rezultata u cjelokupnom ispitivanju su bili: jednaki auti, približna kilometraža kod uzimanja uzoraka te jedan ispitivač. No, neke faktore je bilo nemoguće usuglasiti kao npr. različiti vozači u različitim vremenskim periodima koji su automobile koristili u nejednakim prometnim uvjetima, uvijek s drugačijim stilovima vožnje. Dobiveni rezultat ukazuje na to da vozila pogonjena na plin imaju manji sadržaj čestica trošenja u ulju što bi značilo da im je produžen vijek trajanja, te je to vrlo dobar pokazatelj da je plin kao gorivo i više nego poželjan u automobilima.

Za krajnje rezultate, bolje bi bilo da su uzorci uzimani kroz duže vremensko razdoblje, time i uz veću kilometražu, za 100000 km bi se moglo puno bolje odrediti točno trošenje motora te bi se takvi rezultati mogli i koristiti u svrhe većih istraživanja. Za potrebe ovog završnog rada svi uvjeti su bili ispunjeni i provedeni do kraja, ferografija kao metoda ispitivanja stanja sustava se pokazala iznimno učinkovitom i relevantnom kako za opisivanje jednog tako i za usporedbu više sustava.

## **10. Literatura**

[1] [www.energetika-net.hr](http://www.energetika-net.hr)

[2] B. Labudović: Osnove tehnike ukapljenog naftnog plina; Energetika marketing, Zagreb, 2007

[3] F. Muštović: LPG (propan – butan) autoplin IBC d.o.o, Sarajevo, 2008

[4] [www.proplin.hr](http://www.proplin.hr)

[5] [www.top-projekt.hr](http://www.top-projekt.hr)

[6] [www.-prometna-zona.com](http://www.-prometna-zona.com)

[7] T. Aleksandrov: Praćenje stanja motora na pogon alternativnim gorivima; Diplomski rad; Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2005

[8] [www.unp-udruga.hr](http://www.unp-udruga.hr)

[9] V. Zima: Podmazivanje mehaničkih sistema

[10] [www.poslovniforum.hr](http://www.poslovniforum.hr)

[11] M. Kolombo: Ferografija jučer i danas; Goriva i Maziva, 45, 6: 407-412, 2006

[12] G. Marić: Doprinos praćenju stanja motora analizom čestica trošenja; Doktorska disertacija; Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2003